

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,  
мехатроніки і робототехніки  
Кафедра автомобілів і транспортних технологій

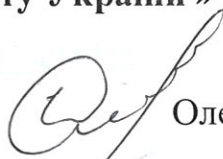
ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи  
освітнього ступеня  
магістр

Галузь знань 27 – «Транспорт»  
Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

на тему: « Використання водню і біопалива для автомобільного  
транспорту України »

Виконав: студент групи ААГ-21м



Олександр ДІДКОВСЬКИЙ

Керівник:



Руслана КОЛОДНИЦЬКА

Завідувач кафедри:



Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

Рецензент:



Олександр Рибаченко

Житомир 2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ**

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”**

**Факультет:** комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

**Кафедра:** автомобілів і транспортних технологій

**Освітній ступінь:** “магістр”

**Галузь знань:** 27 “Транспорт”

**Спеціальність:** 274 - “Автомобільний транспорт”

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри А і ТТ

**Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ**

“ 11 ” 11 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня магістр

**Дідковський Олександр Васильович**

1. **Тема роботи:** “Використання водню і біопалива для автомобільного транспорту України”

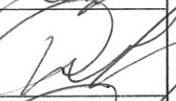
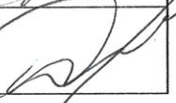
Затверджена наказом вищого навчального закладу від “11” листопада 2024 року

**Керівник роботи:** к.т.н., доц. Колодницька Р.В.

2. **Строк подання студентом завершеної роботи:** 20.12.2024 р.

3. **Вихідні дані для роботи:** нормативно-правові документи, довідникова література, літературні та інтернет джерела, результати експериментальних досліджень.
4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):** аналіз автомобілів що працюють на двигунах з паливними комірками. Аналіз використання біопалива в Україні та світі. Аналіз Європейських стандартів з шкідливих викидів. Аналіз застосування та виробництва НВО в Україні та світі.
5. **Пояснювально - роздавальний матеріал (презентація) - 10 слайдів**  
Дата видачі завдання “ 25 ” 03 \_\_\_\_\_ 2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів магістерської роботи | Строк виконання етапів | Примітка                                                                            |
|-------|-----------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Отримання теми роботи             | 25.09.2024             |  |
| 2     | Вихідні дані до роботи            | 05.10.2024             |  |
| 3     | Теоретичний аналіз                | 07.10 - 16.10. 2024    |  |
| 4     | Практична частина                 | 16.10. - 16.11.2024    |  |
| 5     | Розробка рекомендацій             | 16.11. - 30.11.2024    |  |
| 6     | Оформлення роботи                 | 01.12. - 15.12.2024    |  |
| 7     | Підготовка до захисту             | 16.12. - 25.12.2024    |  |

Студент

  
\_\_\_\_\_

Дідковський Олександр

Керівник роботи

  
\_\_\_\_\_

Руслана Колодницька

## ЗМІСТ

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Вступ .....</b>                                                               | <b>9</b>  |
| <b>1. Огляд літератури .....</b>                                                 | <b>11</b> |
| <b>2. Автомобілі з паливними комітками на водні .....</b>                        | <b>14</b> |
| 2.1. Основи функціонування паливних коміток .....                                | 14        |
| 2.2. Технологічні особливості автомобілів із паливними комітками .....           | 15        |
| 2.3. Моделювання систем із паливними комітками за допомогою MATLAB .....         | 16        |
| 2.4. Проблеми та виклики .....                                                   | 18        |
| 2.5. Перспективи розвитку .....                                                  | 19        |
| <b>3. Використання біопалива в автомобільному транспорті .....</b>               | <b>20</b> |
| 3.1. Біодизельне паливо .....                                                    | 20        |
| 3.2. Відновне паливо (HVO = renewable diesel) .....                              | 23        |
| 3.3. Використання відновного палива та паливних коміток в Україні .....          | 30        |
| 3.4. Використання HVO в Україні .....                                            | 39        |
| <b>4. Шкідливі викиди від використання викопних і альтернативних палив .....</b> | <b>47</b> |
| 4.1. Європейські стандарти з викидів палива .....                                | 47        |
| 4.2. Вплив викидів біопалива на здоров'я .....                                   | 51        |
| 4.3. Технології зниження викидів .....                                           | 56        |
| 4.4. Аналіз роботи в програмі COPERT для HVO та біодизеля .....                  | 59        |
| 4.5. Практичне дослідження HVO та біодизеля за допомогою програми COPERT .....   | 62        |
| <b>Висновки .....</b>                                                            | <b>66</b> |

|                                         |           |
|-----------------------------------------|-----------|
| <b>Список використаних джерел .....</b> | <b>70</b> |
|-----------------------------------------|-----------|

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи “Використання водню і біопалива для автомобільного транспорту України” виконана на

**Ключові слова:** водень, біопаливо, HVO (гідроочищена рослинна олія), біодизель, паливні комірочки, екологія, альтернативне паливо, зменшення викидів, відновлювальні джерела енергії, водневі технології, енергетична незалежність, COPERT (програма моделювання викидів).

**Об'єктом дослідження** є технології використання альтернативних видів палива (водню та біопалива, зокрема HVO та біодизеля) у транспортній галузі України.

### **Основні завдання:**

- Аналіз сучасного стану розвитку автомобільного транспорту з водневими паливними комірочками.
- Дослідження особливостей використання біопалива.
- Оцінка впливу використання викопного палива та альтернативних видів на екологію.
- Розгляд європейських стандартів зниження викидів транспорту.
- Розробка рекомендацій для впровадження водневих технологій та біопалива в Україні.

**Метою дослідження** є вивчення сучасних технологій використання водню та біопалива в транспортному секторі України, оцінка їх екологічних переваг та економічного потенціалу для зменшення шкідливих викидів і досягнення енергетичної незалежності.

### **Практичне значення:**

Результати роботи можуть бути використані для розробки державних програм субсидування переходу на екологічно чисте паливо, створення інфраструктури для водню та біопалива, а також залучення міжнародного фінансування.

## ВСТУП

У сучасному світі є багато екологічних та енергетичних викликів, зокрема це стосується зростання залежності від викопних енергоресурсів і негативним впливом їх використання на довкілля. Однією з найбільш значущих сфер, що спричиняє глобальні проблеми в кліматі, є транспортна галузь. Використання традиційного пального, такого як бензин чи дизель, сприяє викидам парникових газів та забрудненню атмосфери токсичними речовинами. В умовах зростання кількості автомобілів питання впровадження екологічно чистих видів палива є вкрай важливим та актуальним.

Одним з перспективних напрямків є використання водню та біопалива. Водень вважається ідеальним паливом майбутнього завдяки його екологічній чистоті, високій енергетичній ємності та можливості відновлюваного виробництва. Біопаливо, у свою чергу, є джерелом енергії, що виробляється з відновлюваних сировинних ресурсів, таких як рослинні культури, відходи сільськогосподарського виробництва та харчової промисловості. Його застосування дозволяє не лише зменшити залежність від викопних ресурсів, а й створити умови для зменшення викиду парникових газів та шкідливих речовин в атмосферу.

Впровадження цих видів палива в автомобільний транспорт є вкрай важливим кроком для вирішення екологічних та енергетичних проблем. Розробка та вдосконалення технологій використання водню і біопалива може суттєво знизити рівень шкідливих викидів, підвищити енергоефективність транспорту та сприяти розвитку суспільства.

Актуальність теми роботи зумовлена необхідністю впровадження альтернативних джерел енергії в транспортній сфері України. Зважаючи на значний вплив автомобільного транспорту на стан довкілля, дослідження можливостей використання водню та біопалива є важливим завданням для науковців, інженерів та державних органів.

Метою дослідження є вивчення технологій використання водню та біопалива в автомобільному транспорті, оцінці їх екологічних переваг та перспектив впровадження цих технологій в Україні.

Завданням цієї роботи є:

1. Провести аналіз сучасного стану розвитку автомобільного транспорту з водневими паливними комітками.
2. Розглянути особливості використання біопалива в автомобільному транспорті, зокрема біопалива та відновного дизельного палива.
3. Визначити вплив використання викопних і альтернативних палив на шкідливі викиди.
4. Розглянути міжнародні та європейські стандарти зменшення викидів транспорту.

Об'єктом дослідження є технології використання водню та біопалива у транспортній сфері.

Таким чином, магістерська робота спрямована на вирішення важливих науково-технічних завдань, що стосуються зменшення екологічного впливу автомобільного транспорту та є актуальною для України та світу загалом.

## 1. Огляд літератури

Сучасні тенденції у сфері екологічного транспорту спрямовані на зменшення залежності від викопних джерел енергії та мінімізацію викидів шкідливих газів в атмосферу. Серед альтернативних видів палива, що активно розвиваються є водень та біопаливо. Цей огляд літератури узагальнює основні аспекти дослідження цих джерел енергії та їх застосування у автомобільному транспорті.

Одним з перспективних напрямків є водень. У роботі Бента Сьоренсена “Hydrogen and Fuel Cells: Emerging Technologies and Applications” розглядаються основні способи виробництва, транспортування та зберігання водню. Автор акцентує увагу на ефективності паливних елементів і можливості їх інтеграції в сучасні транспортні засоби.

У монографії Майкла Балла і Мартіна Вітшеля “Hydrogen Fuel for Surface Transportation” аналізуються переваги водню як палива та бар’єри для його впровадження. Особливу увагу приділено економічним та інфраструктурним аспектам, зокрема необхідності створення мережі заправних станцій для водню.

В Україні перспективи використання водневих технологій досліджуються в роботах, опублікованих в журналі “Автомобільний транспорт”. У статтях аналізуються технічні та економічні можливості інтеграції водню в транспортну систему країни.

Біопаливо є ще одним важливим компонентом сталого розвитку транспортної індустрії. У звіті Worldwatch Institute "Biofuels for Transport: Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy" розглядається глобальний потенціал біопалива. Автори висвітлюють

екологічні переваги використання біопалива, а також вплив цих видів палива на сільське господарство.

Дослідження "The Science of Biofuels and Bio-based Chemicals" фокусується на інноваційних технологіях виробництва біопалива та їх сумісності із сучасними двигунами. Автор детально аналізує процеси отримання палива з органічних відходів і сільськогосподарських культур.

В українських дослідженнях, таких як "Енергетика і електрифікація", розглядаються методи виробництва біопалива для сільськогосподарської техніки та транспорту. Особливу увагу приділено його економічній доцільності та впливу на довкілля.

У праці "Sustainable Transportation and Smart Logistics" надається всебічний аналіз використання різних видів палива, включаючи водень та біопаливо. Автори порівнюють їх за критеріями енергетичної ефективності, екологічності та доступності для споживачів.

Українські дослідники, зокрема автори статей у "Віснику НТУ", роблять висновки щодо доцільності використання цих видів палива в умовах України. Вони підкреслюють, що біопаливо є більш доступним за існуючих технологічних умов, тоді як водень вимагає значних інвестицій у створення інфраструктури.

У роботі "Renewable Energy and Climate Change" розглядаються основні проблеми, що стримують розвиток альтернативних видів пального. Це викликано високою вартістю технологій, недостатньою розвиненістю інфраструктури та потребою в суспільній підтримці.

Подібні аспекти обговорюються й українськими дослідниками, які зазначають, що для впровадження нових технологій необхідна активна участь держави та залучення міжнародних інвестицій.

Виходячи з літератури описаної вище, можна дійти висновку, що водень та біопаливо мають великий потенціал у зменшенні екологічного впливу транспорту. Та незважаючи на різні, кожен з цих видів пального стикається з бар'єрами впровадження, які вимагають подальших досліджень та інвестицій. Для України є особливо актуальним використання біопалива, зважаючи на доступність сировини та можливість швидкої адаптації технологій. Водночас розвиток водневих технологій може стати стратегічним напрямком у довгостроковій перспективі.

## **2. Автомобілі з паливними комітками на водні**

### **2.1. Основи функціонування паливних коміток**

Автомобілі з паливними комітками є однією з ключових інновацій у сфері екологічного транспорту. Принцип їхньої роботи базується на перетворенні хімічної енергії водню в електричну безпосередньо в процесі електрохімічної реакції. Основний елемент цієї технології - паливна комітка, яка працює за допомогою полімерного електроліту, відомого як PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell).

Реакція, яка відбувається в паливній комітці, складається з трьох ключових стадій:

- 1) На аноді молекули водню розділяються на протони і електрони за допомогою каталізатора.
- 2) Протонна мембрана дозволяє проходити протонам до катода, тоді як електрони спрямовуються через зовнішній ланцюг, утворюючи електричний струм.
- 3) На катоді кисень з'єднується з протонами та електронами, утворюючи воду, яка є єдиним побічним продуктом процесу.

Цей підхід забезпечує нульові викиди шкідливих речовин в атмосферу, що робить паливні комітки ідеальним варіантом для зменшення негативного впливу транспорту на довкілля.



Рис 2.1. Принцип роботи паливної комірки (PEMFC)

## 2.2. Технологічні особливості автомобілів із паливними комітками

Сучасні водневі автомобілі обладнанні високотехнологічними системами зберігання та використання водню. Зазвичай водень зберігається у вигляді стисненого газу в резервуарах, здатних витримувати тиск до 700 бар. Такі резервуари забезпечують безпечне зберігання та дозволяють автомобілю долати значні відстані (до 800 км) без дозаправки.

Інноваційні моделі, такі як Toyota Mirai, Hyundai Nexo та Honda Clarity Fuel Cell, демонструють високий рівень комфорту та продуктивності. Ці автомобілі оснащені складними системами керування енергією, які оптимізують витрати водню залежно від швидкості руху, навантаження та умов експлуатації.

Ще однією ключовою характеристикою автомобілів із паливними комітками є короткий час заправки - приблизно 3-5 хвилин, що є значною перевагою порівняно з електромобілями, які потребують значно більше часу для зарядки.

Таблиця 2.1. Типи паливних комірок та їх особливості

| Тип паливної комірки | Робоча $t^{\circ}$ | Переваги                                                    | Недоліки                            | Основне застосування                       |
|----------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|
| PEMFC                | 60-80              | Високий ккд (60%), швидкий запуск, крспактність             | Чутливість до чистоти водню         | Автомобільний транспорт                    |
| SOFC                 | 700-1000           | Можливість використання різних видів палива, тривала робота | Складна система охолодження         | Стаціонарні енергетичні установки          |
| PAFC                 | 150-200            | Стабільність, стійкість до забруднень                       | Низький ккд (50%)                   | Стаціонарні енергетичні установки          |
| AFC                  | До 90              | Високий ккд (60%), низька вартість                          | Чутливість до $CO_2$                | Космічні програми, транспорт               |
| DMFC                 | 50-120             | Простота зберігання та транспортування палива               | Низький ккд (30-40%), викиди $CO_2$ | Портативні пристрої, спеціальний транспорт |

### 2.3. Моделювання систем із паливними комітками за допомогою MATLAB

Одним із найважливіших етапів розробки автомобілів із водневими паливними комітками є їхнє моделювання. Програмне забезпечення MATLAB та його модуль Simulink є широко вживаними інструментами для таких досліджень.

MATLAB - це універсальне програмне середовище для числових розрахунків, яке широко використовується в інженерії та науці. Для задач моделювання транспортних систем MATLAB інтегрується з такими модулями, як Simulink і Advisor.

Simulink дозволяє проводити моделювання паливних комірок, аналізуючи процеси генерації електроенергії, втрат тепла та витрат палива.

Використання таких моделей дає змогу дослідникам передбачати ефективність роботи автомобіля в різних умовах.

Advisor - це інструмент для симуляції транспортних засобів, розроблений для оцінки їхніх енергетичних і екологічних характеристик.

Інструмент Advisor, який інтегрований у MATLAB, дає можливість комплексно оцінити роботу транспортного засобу. З його допомогою можна моделювати рух автомобіля з урахуванням впливу аеродинамічного опору, тертя шин і змін рельєфу дороги. Крім того, Advisor дозволяє оцінити енергетичний баланс між споживанням і відновленням енергії.

Такі симуляції є надзвичайно важливими на етапі проєктування, адже вони допомагають оптимізувати роботу паливних комірок і мінімізувати втрати енергії.

Основні можливості Advisor:

- 1) Оцінка паливної ефективності: Advisor розраховує витрати палива автомобілем за різних умов руху, таких як міський цикл, шосе або комбінований цикл.
- 2) Аналіз енергетичного балансу: Інструмент дозволяє моделювати енергетичні втрати в системі та визначати, які компоненти є найбільш енерговитратними.
- 3) Симуляція руху: Модуль враховує параметри дороги, такі як ухили, а також чинники, пов'язані з автомобілем, включаючи аеродинамічний опір і масу.
- 4) Вплив екологічних параметрів: Інструмент оцінює кількість викидів шкідливих речовин, які генерує автомобіль і дозволяє порівнювати їх із встановленими нормативами.

Переваги використання Advisor:

- 1) Швидкість та точність: Advisor забезпечує швидке отримання результатів, зберігаючи високий рівень точності.
- 2) Економія ресурсів: Завдяки моделюванню зменшується потреба у створенні дорогих фізичних прототипів.
- 3) Можливість інтеграції: Інструмент легко інтегрується з іншими модулями MATLAB для проведення комплексних досліджень.

Попри численні переваги, використання Advisor вимагає від дослідника глибоких знань у галузі транспорту й енергетики. Також існують обмеження щодо точності моделювання, особливо якщо реальні умови експлуатації значно відрізняються від заданих у симуляції.

## **2.4. Проблеми та виклики**

Незважаючи на значний потенціал автомобілів із паливними комірками, їхнє масове впровадження стикається з низкою проблем:

- 1) Висока вартість: Основний каталізатор у паливних комірках - це платина, яка є дорогим матеріалом. Розробка альтернативних каталізаторів є одним із пріоритетних завдань дослідників.
- 2) Інфраструктура: Станції для заправки воднем поки що залишаються рідкістю навіть у розвинених країнах. Їх будівництво потребує значних капіталовкладень.
- 3) Безпека: Водень є високозаймистим газом, тому технології його зберігання та транспортування мають відповідати найвищим стандартам безпеки.

Крім того, тривалість роботи паливних комірок ще потребує вдосконалення. Сучасні комірки мають обмежений термін служби, який може знижуватись за інтенсивного використання.

## **2.5. Перспективи розвитку**

Попри існуючі труднощі, автомобілі з паливними комірками вважаються транспортом майбутнього. Зусилля науковців зосередженні на пошуку нових матеріалів для зниження вартості виробництва, а також на розвитку інфраструктури. Уряди багатьох країн активно інвестують у створення мережі водневих заправок і стимулюють виробників автомобілів до переходу на екологічні види палива.

Для України розвиток водневого транспорту може стати стратегічним напрямом, враховуючи потенціал відновлюваних джерел енергії, які можуть використовуватись для виробництва водню. Державна підтримка в цьому напрямку може прискорити інтеграцію водневих технологій у транспортну систему країни.

#### Висновки до розділу 2.

Автомобілі з паливними комірками на водні - це екологічно чистий і перспективний вид транспорту, що може суттєво знизити викиди парникових газів. Однак їхнє широке впровадження вимагає вирішення технічних, економічних та інфраструктурних проблем. Моделювання систем із використанням MATLAB\Simulink сприяє вдосконаленню технологій і допомагає їх конкурентноспроможними на ринку.

### **3. Використання біопалива в автомобільному транспорті**

#### **3.1. Біодизельне паливо**

Біодизель є одним із найбільш поширених видів біопалива, що використовується в автомобільному транспорті. Його популярність пояснюється екологічною безпечністю, можливістю виробництва з відновлюваних джерел та сумісністю з дизельними двигунами, які становлять значну частку автомобільного парку у світі.

Біодизель - це екологічно чисте паливо, яке отримують шляхом хімічної обробки рослинних олій або тваринних жирів. У цьому процесі тригліцериди, що містяться в сировині, реагують зі спиртами у присутності каталізатора, утворюючи метилові або етилові ефіри жирних кислот та побічний продукт - гліцерин.

Властивості та переваги біодизелю:

##### **1) Екологічна безпечність**

- Зменшення викидів парникових газів.

Під час спалювання біодизелю в атмосферу викидається значно менше вуглекислого газу ніж при використанні викопного дизельного палива. Це пояснюється тим, що під час росту сировини для біодизелю рослини поглинають вуглекислий газ, компенсуючи його виділення під час згоряння.

- Відсутність сірки в складі біодизелю зменшує викиди сірчастих сполук, які є основним чинником кислотних дощів.

##### **2) Сумісність із традиційними двигунами.**

Біодизель можна використовувати в деяких стандартних двигунах великого розміру які працюють на дизелі без суттєвих модифікацій. Це забезпечує можливість його впровадження без необхідності заміни великої

кількості деталей. Але в більшості випадків використання біодизельного палива приводить до проблем з розпилюванням палива, а також підвищенням оксидів азоту. Через те в дизельне паливо зараз додають, як правило, тільки 7% біодизеля.

### 3) Біорозкладність та безпечність.

Біодизель є нетоксичним і швидко розкладається у природному середовищі. Це зменшує ризики забруднення ґрунту та води у разі його витоку чи аварій.

Біодизель може вироблятися з широкого спектра сировини:

- Рослинні олії: найбільш поширеними є ріпакова, соєва, пальмова та соняшникова олії.
- Відходи харчової промисловості: використані кулінарні олії та інші органічні залишки.
- Тваринні жири: жирова сировина, що є побічним продуктом м'ясної промисловості.
- Водорості: перспективне джерело завдяки високій продуктивності й відсутності конкуренції з харчовими культурами.

Технологічні особливості виробництва.

Процес трансестерифікації, який лежить в основі виробництва біодизелю, включає кілька етапів:

- 1) Підготовка сировини: очищення рослинної олії або тваринного жиру від домішок.
- 2) Хімічна реакція: змішування сировини зі спиртом у присутності каталізатора.

- 3) Відділення продуктів: після реакції утворюється дві основні фази - біодизель і гліцерин. Біодизель очищується й проходить фільтрацію для видалення залишків спирту та каталізатора.
- 4) Фінальна обробка: контроль якості для забезпечення відповідності стандартам, наприклад, EN 14214 у Європі або ASTM D6751 у США.

Використання біодизелю у транспорті.

- 1) Використання у чистому вигляді (B100): чистий біодизель застосовується рідше через високу в'язкість і гігроскопічність, що може призвести до корозії паливної системи. Його використання характерне для спеціальних транспортних засобів, адаптованих для цього палива.
- 2) Суміші з традиційним дизельним паливом: найпоширенішими є суміші біодизелю з викопним дизелем у різних пропорціях (B5, B10, B20). Це дозволяє знизити викиди шкідливих речовин, зберігаючи характеристики палива необхідні для роботи двигунів.

Переваги використання біодизелю

- 1) Зниження викидів шкідливих речовин: біодизель сприяє зменшенню викидів CO<sub>2</sub>, твердих частинок, вуглеводнів і оксидів азоту.
- 2) Скорочення залежності від викопного палива: виробництво біодизелю з локальної сировини дозволяє диверсифікувати джерела енергії та зміцнити енергетичну безпеку країн.
- 3) Економічна вигода: для країн із розвиненим сільським господарством виробництво біодизелю може стати джерелом додаткових доходів і стимулом для розвитку аграрного сектора.

Обмеження використання біодизелю

- 1) Конкуренція за сировину: вирощування олійних культур для біодизелю може скоротити площі, доступні для вирощування харчових продуктів.
- 2) Проблеми зберігання та транспортування: біодизель має властивість поглинати вологу та окислюватись, що впливає на його довготривале зберігання.
- 3) Енергетичний баланс: виробництво біодизелю вимагає значних енергетичних затрат, особливо якщо враховувати вирощування сировини, збирання врожаю та транспортування.

Перспективи біодизелю.

Подальший розвиток технологій виробництва та використання біодизелю може зробити його більш конкурентоспроможним ніж традиційні види палива. Застосування нетрадиційної сировини, наприклад водоростей чи відходів виробництва, допоможе мінімізувати вплив на продовольчу безпеку та знизити собівартість палива.

### **3.2. Відновне паливо (HVO = renewable diesel)**

Відновне паливо HVO є одним із найбільш перспективних видів альтернативного дизельного палива, яке відповідає сучасним екологічним вимогам. HVO виготовляється шляхом гідроочищення рослинних олій, тваринних жирів або відходів харчової промисловості. Ця технологія дозволяє отримати паливо з високими енергетичними характеристиками, яке може повністю замінити викопне дизельне паливо без модифікації існуючої інфраструктури.

Процес виробництва HVO.

Основою виробництва є технологія гідроочищення, яка передбачає хімічну реакцію видалення кисню з молекул органічної сировини в присутності водню. Цей процес відбувається в умовах високої температури (300-400С) та тиску (до 100 атмосфер) у спеціальних реакторах.

## Як виробляють HVO?

- **Сировина:**

Рослинні олії (соняшникова, ріпакова, пальмова).

Жири тваринного походження.

Відходи харчової промисловості.

- **Процес:**

Гідроочищення (гідрогенізація).

Каталізатор сприяє видаленню кисню та насиченню вуглецевих зв'язків.

- **Результат:**

Чисте, стабільне паливо з високою енергетичною щільністю



Рис. 3. Сировина яку використовують для виробництва HVO

Ключові етапи виробництва:

- 1) Попередня підготовка сировини: очищення від домішок, фільтрація та дегідратація.
- 2) Гідроочищення: додавання водню, який реагує з киснем, утворюючи воду. Це дозволяє отримати чисте вуглеводневе паливо без кисневих сполук.
- 3) Фракціонування: поділ продуктів реакції на паливні фракції, такі як дизель, гас та інші.
- 4) Контроль якості: перевірка фізико-хімічних властивостей палива для відповідності стандартам.

Сировина для виробництва HVO є різноманітною та включає в себе:

- Рослинні олії (ріпакова, соняшникова, пальмова);
- Тваринні жири (побічні продукти м'ясної промисловості);
- Відходи харчової промисловості (використані кулінарні олії);
- Відновлювані органічні залишки.

Проте найкращою сировиною для виробництва HVO є відпрацьована кулінарна олія. Її повторне використання дозволяє зменшити обсяги харчових відходів і скоротити витрати на утилізацію, роблячи виробництво палива більш економічно та екологічно ефективним.

Так як в нашій країні сильно розвинений ресторанний сектор, пережарену олію можна було б збирати на спеціальних підприємствах та виготовляти з неї біопаливо, яке може забезпечити нашу країну як новими інвестиціями з боку іноземних компаній так і процвітанням паливного сектору в країні та світі.

#### Фізико - хімічні властивості HVO

HVO вирізняється високими показниками якості, що перевершують традиційний дизель і біодизель FAME. Основні характеристики HVO такі:

- Цетанове число: 80-99 (порівняно з 51 для FAME);
- Відсутність ароматичних сполук: 0%, що сприяє зниженню викидів сажі;
- Сірка: менше 10 мг/кг.;
- Щільність: 775 – 785 кг/м<sup>3</sup> при 15 C°;

- Температура застигання: може бути налаштована від -5 до -25 °C для різних кліматичних умов.

Завдяки цим характеристикам HVO є повністю сумісним із сучасними двигунами та відповідає стандартам EN590 і ASTM D 975.

#### Переваги використання HVO.

- 1) Екологічність: HVO виробляється з відновлюваних джерел, що дозволяє значно скоротити викиди парникових газів протягом усього життєвого циклу палива. Під час згоряння HVO викиди шкідливих речовин, таких як сірка, ароматичні вуглеводні та сажа, є значно нижчим порівняно з традиційним дизелем. Використання пережареної олії дозволяє уникнути утилізації цих відходів на сміттєзвалищах або спалювання, що додатково знижує обсяг парникових газів, які потрапляють в атмосферу.
- 2) Сумісність із двигунами: завдяки своїй хімічній і фізичній подібності до викопного дизеля, HVO може використовуватись у звичайних двигунах внутрішнього згоряння без необхідності їх модифікації. Це забезпечує його універсальність і можливість негайного впровадження.
- 3) Поліпшення характеристик роботи двигуна: HVO має вищу цетанову кількість (понад 70), що сприяє кращому займанню палива, зниженню шуму двигуна та зменшенню викидів незгорілого палива.
- 4) Стійкість до низьких температур: на відміну від традиційного біодизеля, HVO демонструє високу стабільність за низьких температур, що дозволяє використовувати його в холодному кліматі без ризику утворення осаду в паливній системі.

5) Тривалий термін зберігання: HVO є більш стабільним, ніж біодизель, і може зберігатись довший час без погіршення його характеристик.

Екологічні переваги:

- Зменшення викидів твердих частинок: на 28 - 46%;
- Зниження викидів  $NO_x$ : на 7 – 14%;
- Зниження викидів CO: до 78%;
- Скорочення загальних вуглеводнів (THC): до 48%;

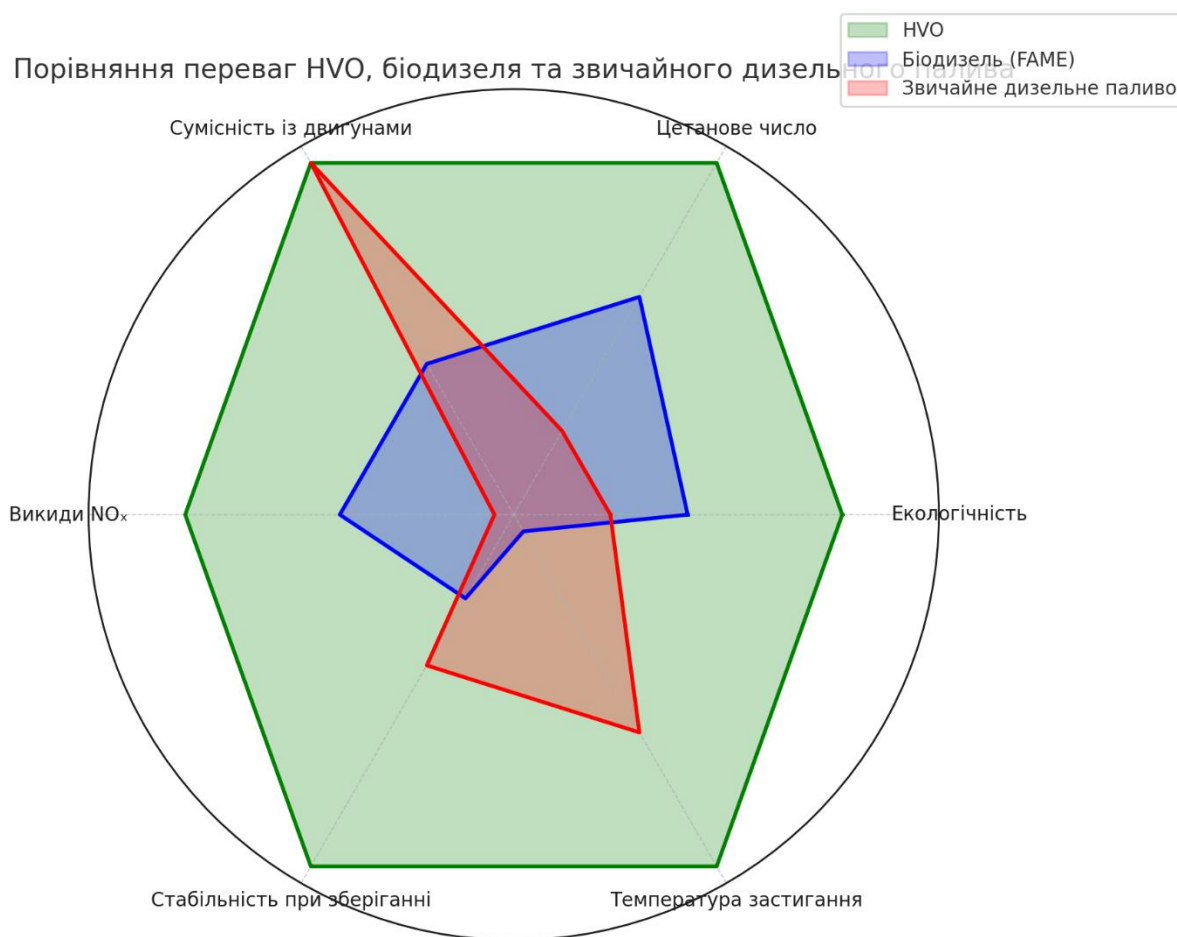


Рис. 3.1. Діаграма порівняння HVO, біодизелю FAME та звичайного дизельного палива.

У таблиці 3.1. наведено порівняння ключових характеристик HVO, біодизелю (FAME) та традиційного дизельного палива, що демонструє переваги HVO над іншими видами палива.

Таблиця 3.1.

| Показник                    | HVO                                   | Біодизель (FAME)     | Традиційне дизельне паливо |
|-----------------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------------|
| Джерело сировини            | Рослинні олії, тваринні жири, відходи | Рослинні олії        | Викопні ресурси            |
| Цетанове число              | 80-99                                 | 51                   | 40-55                      |
| Викиди твердих частинок     | Зменшені на 28-46%                    | Зменшені на 15-20%   | Високі                     |
| Сумісність із двигунами     | Повна                                 | Потребує модифікації | Повна                      |
| Стабільність при зберіганні | Висока                                | Помірна              | Висока                     |

Застосування HVO у транспорті.

HVO активно використовується в різних транспортних секторах:

- 1) Легкові автомобілі: завдяки своїй універсальності HVO підходить для використання в будь-яких автомобілях із дизельним двигуном.
- 2) Вантажний транспорт: HVO застосовується у вантажівках і автобусах, знижуючи викиди вуглекислого газу та поліпшуючи екологічну ситуацію у містах. У деяких європейських країнах, таких як Нідерланди, активно використовують автобуси й літаки, що працюють на паливі, яке частково або навіть повністю вироблене з пережареної олії.



Рис. 3.2. Вантажний автомобіль від компанії AVL, який працює на керамічних паливних комірках.

- 3) Залізничний транспорт: у регіонах, де електрифікація залізниць є обмеженою, HVO стає ефективним рішенням для дизельних локомотивів.
- 4) Морський транспорт: HVO використовується як екологічна альтернатива традиційному мазуту у суднових двигунах.

Прикладом успішного впровадження цього виду палива є використання його в автобусах громадського транспорту Європи. Зокрема, у Швеції автобуси, що працюють на HVO, демонструють скорочення викидів вуглекислого газу на 90% у порівнянні з традиційними дизельними автобусами.

Недоліки та виклики.

Попри численні переваги, існують певні обмеження використання HVO:

- 1) Висока вартість виробництва: технологія гідроочищення є складною та енергозатратною, що підвищує кінцеву ціну пального.

- 2) Обмежена доступність сировини: масштабне виробництво HVO потребує значної кількості рослинних олій та органічних відходів, що може призвести до конкуренції за ресурси між паливними і харчовими секторами.
- 3) Інфраструктурні виклики: попри сумісність з дизельними двигунами, його широке впровадження потребує створення логістичних мереж для постачання палива.

#### Перспективи використання HVO.

Розвиток технологій виробництва відкриває нові можливості для впровадження цього палива у глобальний транспортний сектор. Подальше зниження вартості виробництва та розширення доступності сировини сприятимуть його популяризації.

З огляду на його екологічні переваги, HVO може відіграти ключову роль у досягненні цілей Європейського Союзу щодо скорочення викидів парникових газів до 2050 року. Інтеграція HVO у транспортні системи країн, що розвиваються, також сприятиме зменшенню залежності від викопних палив і зниженню рівня забруднення довкілля.

### **3.3. Використання відновного палива та паливних комірок в Україні**

Зростаюча потреба в екологічно чистих джерелах енергії та скорочення залежності від викопного палива сприяє активному розвитку альтернативних технологій у транспортному секторі. Однією з найбільш

перспективних технологій є паливні комірки, що працюють на водні або інших видах палива.

На світовій арені паливні комірки набувають дедалі більшої популярності завдяки їх екологічним та економічним перевагам. Згідно з прогнозами дослідницької компанії Allied Market Research, ринок паливних комірок досягне понад 24 мільярди доларів США до 2030 року, із середньорічним зростанням у 14.6%. У країнах Європейського Союзу, таких як Німеччина та Данія, активно впроваджуються водневі стратегії для розвитку транспортних систем з нульовими викидами.

Паливні комірки також мають значний вплив на скорочення парникових газів. Наприклад, використання водневих комірок у транспортному секторі знижує викиди CO<sub>2</sub> на 70-90% у порівнянні з традиційними двигунами внутрішнього згоряння. У Японії, лідері у впровадженні водневої економіки, кількість заправних станцій для водню зросла до 150, що стимулює розвиток цього ринку.

Україна також має потенціал для впровадження цих технологій завдяки науковим дослідженням, технічним розробкам і наявності відновлюваних ресурсів. Враховуючи глобальні тенденції, інтеграція паливних комірок у транспортну та енергетичну системи України може стати важливим кроком до досягнення кліматичних цілей і сталого розвитку.

#### Історія та розвиток паливних комірок в Україні.

Розробка паливних комірок в Україні має довгу історію. Перші експериментальні зразки були створені ще в 1980-х роках у Черкасах, де науковці досліджували можливості використання альтернативних джерел енергії в транспорті. Одним із ключових результатів цих досліджень стало

створення автономних паливно-комірчаних джерел струму (АПКДС), які знайшли застосування в електротранспорті та спеціалізованій техніці.

Наукові установи, такі як Одеський національний університет ім. І. Мечникова та Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, активно займалися розробкою паливних комірок. Наприклад, у Київському політехнічному інституті було реалізовано низку проєктів, спрямованих на створення паливно-комірчаних генераторів для військової техніки та автономних енергетичних систем.

На початку 2000-х років з’явилися перші пілотні проєкти, зокрема у співпраці з міжнародними партнерами. Було розроблено автомобілі з паливними комірками, здатні забезпечувати автономну роботу протягом тривалого часу. Крім того, успішно працювали стаціонарні енергетичні установки, які використовували водень як основне паливо. Одним із найбільш відомих проєктів стало впровадження комірок у системи резервного живлення для критичної інфраструктури, наприклад, лікарень та телекомунікаційних вузлів.

Попри значний прогрес, розвиток паливних комірок в Україні зіткнувся з низкою викликів, зокрема з високою вартістю матеріалів та неостатньою підтримкою з боку держави. Однак, успіх окремих проєктів підтверджує великий потенціал цієї технології для енергетичної незалежності країни та екологічної модернізації транспорту.

Принцип роботи та переваги паливних комірок.

Паливні комірки працюють на принципі електрохімічної реакції між воднем і киснем, яка утворює електричну енергію, тепло та воду як побічний продукт. Основою роботи паливної комірки є анод, катод і електроліт, які разом формують електрохімічний осередок.

### 1. Типи реакцій:

- На аноді відбувається розщеплення молекул водню на протони та електрони.
- Електрони проходять через зовнішній ланцюг, утворюючи електричний струм, а протони проходять через електроліт до катода.
- На катоді електрони, протони і молекули кисню утворюють воду.

### 2. Типи паливних комірок:

- Протонно-обмінна мембрана: використовує твердий полімерний електроліт, працює при низьких температурах. Широко застосовується в транспорті.
- Твердоокисна паливна комірка: використовує твердий керамічний електроліт, працює при високих температурах. Застосовується у стаціонарних енергетичних установках.
- Лужна паливна комірка: використовує лужний розчин як електроліт, підходить для космічних програм.
- Фосфорно-кислотна паливна комірка: використовує фосфорну кислоту як електроліт, застосовується у комерційних енергетичних системах.

### 3. Переваги конструкції:

- Відсутність рухомих частин зменшує механічний знос і підвищує надійність.
- Модульна структура дозволяє легко адаптувати систему під різні потужності та умови використання.

Паливні комірки є надзвичайно універсальними, оскільки можуть працювати не тільки на водні, але й на інших видах палива, таких як метан, етанол чи біогаз, після їх попередньої обробки. Завдяки цьому вони

є ефективним рішенням для різних галузей, включаючи транспорт, енергетику та промисловість.

Основні переваги паливних комірок:

- Висока ефективність: ефективність перетворення енергії палива в електричну може досягти 60-65%.
- Низькі викиди: єдиним побічним продуктом є вода.
- Тиха робота: рівень шуму менший за 55 дБ, що робить ці системи придатними для використання в міських умовах.
- Мультипаливність: можливість роботи на водні, природному газі, біопаливах та навіть очищеному дизелі або бензині.

Використання паливних комірок у транспорті.

Паливні комірки активно застосовуються в різних видах транспорту:

1) Легкові автомобілі:

- Компанії Renault і BMW використовують паливні комірки, розроблені Delphi Systems. Успішні випробування проведено на автомобілях, які працюють на водні, демонструючи зниження викидів CO<sub>2</sub> на 90%.
- У Японії Toyota випустила водневий автомобіль Mirai, що став піонером у комерційному використанні паливних комірок. Цей автомобіль має запас ходу понад 500км і випускає лише воду як побічний продукт.

2) Вантажний транспорт:

- Системи допоміжних джерел струму (APU), створені AVL, дозволяють забезпечити автономну роботу вантажівок без використання двигуна внутрішнього згорання.

- У США компанія Nikola Motors розробила водневі вантажівки з паливними комірками, які мають дальність ходу до 1200км на одному баку водню, з мінімальними викидами.

### 3) Сільськогосподарська техніка:

- Паливні комірки використовуються для забезпечення роботи техніки в автономному режимі, що важливо в регіонах із відсутністю доступу до електромережі. Наприклад, у Німеччині були впроваджені водневі трактори, які працюють без шкідливих викидів.

### 4) Морський транспорт:

- Судна з гібридними енергетичними системами, які включають паливні комірки, використовуються для скорочення викидів і підвищення ефективності. У Норвегії розроблено перший пасажирський пором на водневих паливних комірках, який повністю відповідає вимогам екологічних стандартів.

Перспективи впровадження в Україні.

Україна має значний потенціал для впровадження паливних комірок у різних секторах:

- Енергетика: використання паливних комірок для забезпечення автономних енергетичних установок у віддалених регіонах. У поєднанні з відновлюваними джерелами енергії, такими як сонячна та вітрова, паливні комірки можуть створювати стабільні гібридні системи енергопостачання.
- Транспорт: розробка міських автобусів і тролейбусів із нульовими викидами на базі паливних комірок. Наприклад, впровадження водневих автобусів, подібних до проєктів у Німеччині і Франції, може значно скоротити забруднення у великих містах України. Крім того, реалізація пілотних проєктів із використанням паливних

комірок у залізничному транспорті могла б стати проривом у модернізації цього сектору.

- Аграрний сектор: використання автономних енергетичних систем у сільському господарстві. Це особливо актуально для забезпечення роботи іригаційних систем, автономного освітлення або живлення техніки в регіонах без доступу до централізованого енергопостачання.

Державна підтримка та міжнародне фінансування.

Для успішного впровадження паливних комірок у містах та інших секторах економіки важливо розробити програми державної підтримки. До таких заходів належать:

- Субсидії та податкові пільги: надання фінансових стимулів для підприємств, що інвестують у впровадження водневих технологій та паливних комірок.
- Національні програми розвитку: створення дорожніх карт розвитку водневої економіки, зокрема розбудови мережі водневих заправних станцій, як це зроблено в Японії та Німеччині.
- Міжнародне фінансування: залучення грантів від міжнародних організацій, таких як Європейський банк реконструкцій та розвитку та Світовий банк. Наприклад, програма Horizon Europe надає фінансування для розробки інноваційних енергетичних рішень, включаючи водневі технології.

Потенціал розвитку паливних комірок у містах України залежить від інтеграції державної підтримки з ініціативами приватного сектору. Поєднання внутрішніх ресурсів і міжнародного фінансування дозволить створити сучасну екологічно чисту транспортну та енергетичну інфраструктуру.

У таблиці 3.2. показано порівняння ефективності паливних комірок і традиційних систем.

Таблиця 3.2.

| Параметр                           | Паливні комірки | Дизельні двигуни | Бензинові двигуни |
|------------------------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| Ефективність %                     | 60-65           | 30-45            | 25-40             |
| Викиди CO <sub>2</sub> , г/кВт-год | 0               | 700-900          | 600-800           |
| Рівень шуму, дБ                    | ≤55             | 75-85            | 65-80             |
| Тривалість роботи, год             | ≥40,000         | 10,000-15,000    | 5,000-8,000       |

Виклики та шляхи їх подолання.

#### 1) Вартість виробництва:

- Паливні комірки залишаються дорогими у виробництві через використання платини як каталізатора. Наприклад, у США на початкових етапах розвитку ринку водневих технологій вартість виробництва паливних комірок була основною перешкодою для їхнього масового впровадження.
- Рішення: розробка альтернативних матеріалів, таких як нанокompозити або недорогі метали, а також зниження витрат через масштабування виробництва. У Німеччині урядова підтримка сприяла створенню програми субсидій для компаній, які працюють над зниженням вартості каталізаторів.

#### 2) Інфраструктура:

- Недостатня кількість водневих заправних станцій. Наприклад, у Японії у 2010-х роках воднева інфраструктура не встигала за швидким розвитком транспорту на паливних комірках.
- Рішення: інвестування в інфраструктуру водневих мереж із залученням державним і приватних коштів. У рамках програми

“H2 Mobility” у Німеччині до 2023 року було відкрито понад 100 водневих заправних станцій, що стимулювало ріст ринку.

3) Освітлення населення:

- Низька обізнаність про переваги та можливості паливних комірок. У багатьох країнах, зокрема у Франції, спочатку населення не зрозуміло екологічних переваг водневих технологій.
- Рішення: проведення інформаційних кампаній і освітніх програм. Наприклад, у США програма “Hydrogen for Everyone” включала демонстраційні заходи, семінари та медіакампанії, що популяризували водневі технології серед населення.

Висновок до розділу.

Паливні комірки є ключовою технологією для досягнення сталого розвитку в Україні. Їхнє впровадження може значно знизити залежність від викопного палива, підвищити енергоефективність і зменшити негативний вплив на довкілля. Подальший розвиток цієї галузі залежить від підтримки наукових досліджень, інвестицій в інфраструктуру та поширення інформації про переваги цієї технології.

### **3.4. Використання НВО в Україні**

Виробництво НВО в Україні.

Україна має значний потенціал для розвитку виробництва гідроочищеної рослинної олії завдяки великій кількості доступної сировини. Згідно з оцінками, в Україні щорічно генерується понад 150 тисяч тон використаної кулінарної олії, яка може бути зібрана та перероблена.

Додатково, обсяги тваринних жирів та залишків харчової промисловості оцінюються у понад 200 тисяч тон на рік.

При наявності сучасних переробних підприємств можливий обсяг виробництва HVO в Україні може досягати 300 тисяч тон на рік, що покриває близько 10% потреб у дизельному паливі на внутрішньому ринку. Крім того, частина цього обсягу може бути експортована, що забезпечить додатковий дохід для країни.

Етапи виробництва HVO:

1. Підготовка сировини:

- Джерела сировини: використані кулінарні олії, тваринні жири, відходи харчової промисловості.
- Процес очищення: фільтрація, дегідратація, видалення домішок.

2. Гідроочищення:

- Сировина піддається обробці в спеціальних ректорах при температурі 300-400 °C та тиску до 100 атмосфер.
- Видалення кисню із молекул за допомогою водню.
- Хімічна реакція:  $\text{RCOOH} + \text{H}_2 \rightarrow \text{RH} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .

3. Фракціонування:

- Поділ продуктів на паливні фракції (дизель, гас, нафтовий газ).

- Таблиця 3.3. Фракції HVO і їхнє використання:

| Фракція      | Застосування  |
|--------------|---------------|
| Дизель       | Транспорт     |
| Гас          | Авіація       |
| Нафтовий газ | Промисловість |

4. Контроль якості:

- Визначення показників, таких як цетанове число, температура застигання, вміст сірки.
- HVO відповідає стандартам EN 15940.

Застосування HVO до старих автомобілів.

Україна має великий парк старих автомобілів, які працюють на дизельному паливі. Використання HVO як альтернативи традиційному паливу може мати значний екологічний та економічний ефект.

Адаптація старих автомобілів:

1. Технічна сумісність:

- HVO має подібні фізико-хімічні властивості до традиційного дизеля, тому не потребує модифікації двигунів. Наприклад, моделі Volkswagen T4 і Mercedes-Benz Sprinter, популярні в Україні, можуть працювати на HVO без змін у системі живлення.

2. Покращення роботи двигуна:

- Відсутність ароматичних сполук у HVO зменшує утворення осаду в паливній системі. Випробування в Німеччині на автобусах MAN показали збільшення терміну служби паливних фільтрів удвічі.
- Збільшення тривалості експлуатації двигуна завдяки меншому зносу деталей.

3. Екологічні переваги:

- Зниження викидів CO<sub>2</sub> до 90%. У тестах, проведених у Франції на фургонах Renault Master, викиди CO<sub>2</sub> зменшились на 85% порівняно з традиційним дизелем.

Зменшення твердих частинок та оксидів азоту, що особливо актуально для міських умов.

4. Технічні випробування:

- у Польщі проводилися тести на автомобілях Fiat Ducato, які показали стабільну роботу на HVO при температурах до -20°C.

- в Україні, у межах пілотного проєкту, на базі комунального транспорту в Києві випробовували автобуси з двигунами Євро-4, які успішно працювали на 100% HVO без додаткових модифікацій.

Таблиця 3.4. Переваги використання HVO в старих автомобілях.

| Показник                           | Традиційний дизель | HVO          |
|------------------------------------|--------------------|--------------|
| Викиди CO <sub>2</sub> , г/кВт*год | 800-900            | ≤100         |
| Викиди NO <sub>x</sub>             | Високі             | Низькі       |
| Тривалість роботи                  | 15,000 год         | 20,000 + год |

Приклад впровадження HVO в автомобілі українців.

Для прикладу розглянемо можливий сценарій впровадження HVO для використання в старих автомобілях українців.

#### 1. Пілотний проєкт у великих містах:

- Впровадження HVO починається з тестування на муніципальних автопарках у Києві, Львові та Одесі. Для цього використовуються старі дизельні автомобілі, що працюють у громадському транспорті чи службах доставки.

#### 2. Інформаційна кампанія:

- проведення просвітницьких заходів для власників автомобілів, які демонструють переваги HVO. Інформаційні буклети, онлайн-семінари та демонстраційні заїзди дозволяють людям побачити екологічні та економічні переваги.

#### 3. Субсидування та знижки:

- надання знижок на перше заправлення HVO та часткове фінансування переходу на біопаливо через державні програми.

#### 4. Інфраструктура:

- створення спеціальних заправних станцій HVO на основі вже існуючих АЗС, зокрема в районах із високою концентрацією дизельних автомобілів.

#### 5. Моніторинг та розширення:

- після успішного тестування муніципальних автопарків програма розширюється на приватний сектор. Додатково проводиться моніторинг технічного стану автомобілів, які перейшли на HVO, для збору статистичних даних і підготовки рекомендацій для користувачів. Україна має великий парк старих автомобілів, які працюють на дизельному паливі. Використання HVO як альтернативи традиційному паливу може мати значний екологічний та економічний ефект.

#### Адаптація старих автомобілів.

##### 1. Технічна сумісність:

- HVO має подібні фізико-хімічні властивості до традиційного дизеля, тому не потребує модифікації двигунів.

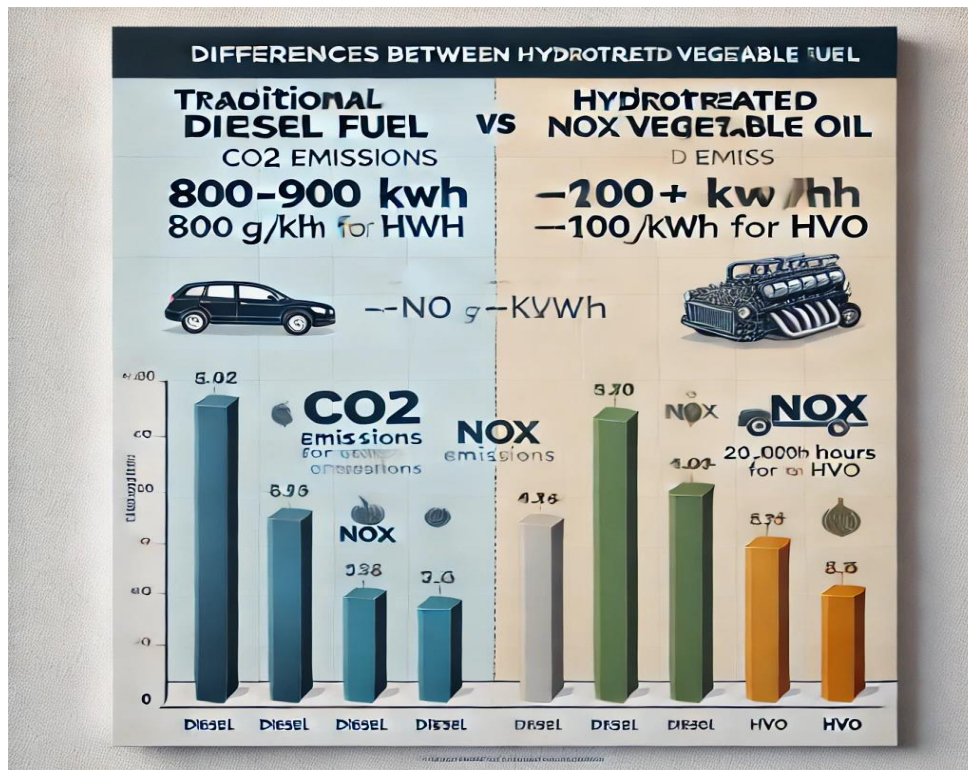


Рис. 3.3. Порівняння традиційного дизеля та HVO (графік демонструє різницю в характеристиках).

## 2. Покращення роботи двигуна:

- відсутність ароматичних сполук у HVO зменшує утворення осаду в паливній системі.

- збільшення тривалості експлуатації двигуна.

## 3. Екологічні переваги:

- зниження викидів CO2 до 90%.

- зменшення твердих частинок та оксидів азоту.

Перспективи розвитку промисловості.

## 1. Економічні переваги:

- Створення робочих місць: розвиток переробних заводів і логістики для збору сировини.
- Зменшення імпорту палива: локальне виробництво зменшує залежність від зовнішніх постачальників.

## 2. Екологічний ефект:

- Зменшення рівня забруднення у містах з високою концентрацією старих автомобілів.

## 3. Розвиток інфраструктури:

- Створення мережі станцій для постачання HVO.
- Партнерство з міжнародними організаціями для залучення інвестицій.

## 4. Експортні можливості:

- Україна має потенціал для експорту HVO на ринки ЄС, де існує високий попит на екологічно чисте паливо. Наприклад, стандарт EN 15940, прийнятий у ЄС, повністю відповідає характеристикам HVO.
- Укладання угод із європейськими компаніями, такими як Neste або Total, може сприяти швидкому розширенню виробничих потужностей та виходу на міжнародний ринок.
- Участь у міжнародних програмах, таких як Horizon Europe, дозволить залучити грантове фінансування на розробку інноваційних технологій у виробництві HVO.



Запровадження виробництва HVO та його використання в старих автомобілях відкриває великі можливості для екологічного та економічного розвитку України. Це сприятиме модернізації транспортного сектору, зменшенню забруднення повітря та створенню нових робочих місць. Враховуючи доступність сировини, інтеграція HVO у транспортну систему може стати важливим кроком до енергетичної незалежності країни.

## **4. Шкідливі викиди від використання викопних і альтернативних палив**

### **4.1. Європейські стандарти з викидів палива**

Європейські стандарти з викидів палива, також відомі як стандарти Euro, були запроваджені для регулювання шкідливих викидів автомобілів у Європейському Союзі. Ці нормативи визначають максимальний рівень викидів забруднюючих речовин для транспортних засобів, включаючи легкові автомобілі, вантажівки, автобуси та мотоцикли. Їх метою є скорочення впливу автотранспорту на довкілля та здоров'я людей.

Стандарти Euro вперше були введені в 1992 році та поступово посилювалися з кожною новою фазою. Кожен новий рівень стандартів знижує допустимі межі викидів:

- Euro 1 (1992): перший крок у стандартизації викидів. Включав обов'язкове використання каталізаторів для бензинових двигунів, що дозволяло скоротити викиди оксидів азоту, вуглецевих оксидів і незгорілих вуглеводнів.
- Euro 2 (1996): зменшено допустимі рівні викидів для бензинових і дизельних двигунів.
- Euro 3 (2000): введено окремі обмеження для оксидів азоту і незгорілих вуглеводнів, посилено вимоги до дизельних автомобілів.
- Euro 4 (2005): знижено допустимі рівні викидів оксидів азоту і твердих частинок.
- Euro 5 (2009): запроваджено жорсткі обмеження на викиди PM і NO<sub>x</sub> для дизельних автомобілів, що стимулювало розвиток технологій фільтрів твердих частинок.
- Euro 6 (2014): найсуворіші обмеження, що вимагають значного скорочення оксидів азоту для дизельних автомобілів.

Основні регульовані викиди:

- 1) Вуглецеві оксиди: гази, що утворюються під час неповного згоряння палива. Високий рівень CO у повітрі може викликати токсичний вплив на людей.
- 2) Окиси азоту: сполуки, які сприяють утворенню кислотних дощів і смогу, а також негативно впливають на дихальну систему.
- 3) Незгорілі вуглеводні: гази, що сприяють утворенню фотохімічного смогу.
- 4) Тверді частинки: мікроскопічні частинки сажі, що виникають під час згоряння дизельного палива, особливо шкідливі для людського здоров'я.

Вплив стандартів на автомобільний транспорт.

- 1) Розвиток технологій: для досягнення відповідності стандартам автовиробники впровадили низку інновацій, зокрема:
  - Системи рециркуляції відпрацьованих газів;
  - Каталізатори вибіркового відновлення;
  - Фільтри твердих частинок.
- 2) Збільшення вартості виробництва: виконання суворих екологічних вимог потребує значних інвестицій у розробку нових систем очищення вихлопних газів.
- 3) Скорочення викидів: впровадження стандартів Euro дозволило зменшити рівень шкідливих викидів на 90% у порівнянні з початковими показниками 1990-х років.

Перспективи розвитку

У 2025 році планується запровадження стандарту Euro 7, який встановить ще суворіші обмеження на викиди. Основні напрямки:

- Зниження викидів NOx до рівня 0.02 г/км;

- Контроль за рівнем викидів у реальних умовах експлуатації;
- Впровадження вимог до довговічності систем контролю викидів.

Крім того, ЄС активно розвиває стратегії з переходу на нульові викиди, включаючи підтримку електромобілів та альтернативних видів палива, таких як водень і біопаливо.

Європейський Союз активно працює над реалізацією стратегії нульових викидів з метою досягнення амбітних кліматичних цілей, включаючи повну декарбонізацію транспортного сектору та зниження загальних викидів парникових газів. Ця стратегія є частиною ширшої політики сталого розвитку ЄС, спрямованої на зменшення викидів CO<sub>2</sub> та інших забруднюючих речовин до 2050 року.

Ключові цілі стратегії ЄС щодо нульових викидів

- 1) Зниження викидів парникових газів на 55% до 2030 року. Згідно з Європейським зеленим курсом, ЄС ставить за мету скоротити викиди парникових газів на 55% порівняно з рівнем 1990 року до 2030 року. Це включає в себе перехід на чисті джерела енергії, збільшення використання відновлюваних джерел енергії та удосконалення енергетичної ефективності в усіх секторах економіки, зокрема в транспорті, промисловості та житловому секторі.
- 2) Досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року. В рамках Зеленого курсу ЄС, Європейський Союз прагне стати кліматично нейтральним до 2050 року, тобто забезпечити баланс між викидами парникових газів і їхнім поглинанням природними та технологічними методами (наприклад, через технології вловлювання та зберігання вуглецю). Одним із основних напрямків є розвиток нульових викидів у транспорті та промисловості.

- 3) Розвиток технологій для нульових викидів. Для досягнення нульових викидів ЄС активно інвестує в розробку та впровадження технологій, які дозволяють замінити викопні джерела енергії на поновлювальні, такі як електричні та водневі транспортні засоби, а також розвиток інфраструктури для зарядки електричних автомобілів і заправки водневим паливом.

Стратегії ЄС для досягнення нульових викидів у транспорті.

Транспорт є одним з найбільших джерел викидів парникових газів у Європі, тому створення нульових викидів в цій галузі є одним із пріоритетів європейської кліматичної політики. Ось кілька ключових аспектів стратегій, що визначають шляхи досягнення нульових викидів у транспортному секторі:

- 1) Перехід на електричні транспортні засоби: однією з головних стратегій ЄС є активне заохочення переходу на електричні транспортні засоби. Це включає в себе стимулювання виробництва та споживання електромобілів за допомогою субсидій, податкових пільг та впровадження норм, що зобов'язують автовиробників збільшувати частку електричних автомобілів у своїх лінійках.
- 2) Застосування водневих технологій: ЄС також активно підтримує розвиток водневих технологій, зокрема водневих транспортних засобів. Водень має великий потенціал у сфері транспорту, оскільки він є чистим джерелом енергії, яке не викидає CO<sub>2</sub> під час використання. Водневі автомобілі та автобуси вже починають з'являтися на європейських дорогах, а ЄС інвестує в будівництво водневих заправних станцій для забезпечення їхньої ефективної експлуатації.
- 3) Розвиток технологій для скорочення викидів у важкому транспорті: для важкого транспорту, зокрема вантажних автомобілів та

автобусів, ЄС активно розробляє технології для зменшення викидів. Це включає розвиток альтернативних видів палива, таких як біопаливо, синтетичні палива, а також вдосконалення існуючих технологій для зниження викидів CO<sub>2</sub> та інших шкідливих газів.

#### **4.2. Вплив викидів біопалива на здоров'я**

Забруднення повітря є одним з ключових чинників, що впливають на здоров'я населення та екологічну стабільність. Викиди транспортних засобів, які працюють на викопному паливі, містять численні шкідливі речовини, включаючи тверді частинки (PM), оксиди азоту (NO<sub>x</sub>), сажу та легкі органічні сполуки (VOC). Перехід на відновлювальні види палива, такі як гідроочищена рослинна олія демонструє значний потенціал у зменшенні негативного впливу викидів біопалива, зокрема HVO на здоров'я та їхніх переваг порівняно з традиційним дизельним паливом.

Традиційне викопне дизельне паливо є основним джерелом твердих частинок (PM<sub>2.5</sub> і PM<sub>10</sub>), які можуть проникати в легені та кровоносну систему, викликаючи серцево-судинні та респіраторні захворювання. Крім того, викиди NO<sub>x</sub> сприяють утворенню озону та вторинного органічного аерозолі, що також впливають на якість повітря.

Тверді частинки PM:

- Вплив на здоров'я: PM<sub>2.5</sub> здатні проникати в альвеоли легень і кровоносні судини, що може викликати запальні процеси, погіршення дихальної функції, а також збільшення ризику інфаркту міокарда. Викиди PM<sub>10</sub> також є шкідливими, хоча їхній вплив обмежується верхніми дихальними шляхами.

- Рекомендація ВВОЗ: згідно з новими нормами Всесвітньої організації охорони здоров'я, гранично допустима концентрація  $PM_{2.5}$  становить  $5\text{мкг/м}^3$ , а  $PM_{10}$  -  $15\text{мкг/м}^3$ .

Оксиди азоту:

- Роль у забрудненні:  $NO_x$  є основним компонентом фотохімічного смогу, який утворюється в результаті хімічної реакції з VOC під впливом сонячного світла.
- Вплив на здоров'я:  $NO_x$  спричиняють подразнення дихальних шляхів, погіршують легеневу функцію та можуть сприяти розвитку хронічної обструктивної хвороби легень (ХОЗЛ).
- Граничні значення: ВООЗ встановила рекомендовану граничну концентрацію  $NO_2$  на рівні  $10\text{мкг/м}^3$ .

Переваги біопалива HVO у зменшенні викидів.

HVO, завдяки своїй хімічній чистоті та високим показникам якості, забезпечує суттєве скорочення викидів шкідливих речовин порівняно з традиційним дизельним паливом.

Зменшення викидів твердих частинок.

- Механізм: HVO практично не містить ароматичних сполук, які є основним джерелом утворення сажі. Це дозволяє знизити викиди  $PM$  на 28-46%.
- Приклад: у дослідженнях проведених у міських умовах, використання HVO у громадському транспорті сприяло значному покращенню якості повітря.

Зниження викидів  $NO_x$ .

- Особливості HVO: завдяки своїм фізико-хімічним властивостям HVO забезпечує більш повне згоряння, що знижує утворення оксидів азоту на 7-14%.
- Результати досліджень: автобуси, які працюють на HVO, демонструють значно нижчі показники NO<sub>x</sub> порівняно з тими, що використовують викопне паливо.

Вторинні органічні аерозолі.

Вторинні органічні аерозолі (SOA) є важливим фактором атмосферного забруднення, які впливають на якість повітря та кліматичні процеси. Вони утворюються внаслідок хімічних реакцій у повітрі, зокрема окислення летких органічних сполук (VOC), і можуть суттєво змінювати прозорість атмосфери. Використання HVO дозволяє значно скоротити їхнє утворення завдяки низькому вмісту VOC у складі палива.

Утворення SOA.

SOA утворюється в результаті взаємодії VOC з оксидантами, такими як озон, гідроксильні радикали та нітратні радикали. Ці процеси відбуваються у кілька стадій:

- Емісія VOC у атмосферу: VOC виділяється з вихлопних газів транспортних засобів.
- Окиснення VOC: реакції VOC із озоном призводять до утворення проміжних продуктів.
- Конденсація проміжних продуктів: утворюються частинки, які взаємодіють з іншими аерозолями, формуючи SOA.

HVO знижує емісію VOC на 30-50% у порівнянні з традиційним дизельним паливом, що значно зменшує потенціал утворення SOA. Наприклад, у лабораторних умовах при використанні HVO кількість утворених SOA була на 40% меншою порівняно з викопним дизелем.

Вплив на клімат.

SOA мають складний вплив на кліматичні процеси:

- Відбивання сонячного світла: частинки SOA можуть збільшувати альbedo атмосфери, знижуючи кількість сонячної енергії, що потрапляє на земну поверхню.
- Формування хмар: SOA виступають як ядра конденсації, сприяючи утворенню хмар. Це може впливати на опади та локальні кліматичні умови.

Зниження утворення SOA через використання НВО сприяє стабілізації клімату та зменшенню негативного впливу на погодні явища.

Методи вимірювання SOA.

Вимірювання SOA здійснюється за допомогою сучасних технологій:

- Аерозольні мас-спектрометри: використовуються для аналізу складу частинок у режимі реального часу.
- Камери окиснення: лабораторні установки, які моделюють процеси утворення SOA в атмосфері.
- Супутникові дані: використовуються для оцінки концентрацій аерозолів у великих масштабах.

НВО значно скорочує викиди легких органічних сполук (VOC), що знижує утворення вторинного аерозолі. Це важливо для покращення атмосферної якості, особливо в урбанізованих районах.

Використання НВО у специфічних умовах.

Підземні шахти:

- Використання в шахтах: у підземних шахтах, де вентиляція обмежена, НВО забезпечує значне зменшення концентрації

шкідливих частинок. У дослідженнях у Швеції концентрація елементарного вуглецю (ЕС) при використанні HVO становила лише 7мкг/м<sup>3</sup>, що суттєво нижче граничних значень.

- Покращення умов праці: зниження рівня забруднення сприяє зменшенню ризиків для здоров'я працівників, включаючи ризики респіраторних та серцево-судинних захворювань.

#### Холодний клімат

HVO зберігає свої властивості при низьких температурах (-25 °C ), що дозволяє використовувати його у регіонах із холодним кліматом без ризику утворення осаду в паливній системі.

#### Вплив на здоров'я людей

##### Дослідження короткотермінового впливу:

- Методологія: дослідження на здорових добровольцях показали, що короткочасний вплив вихлопних газів HVO не викликає суттєвих негативних наслідків та змін у дихальній системі.
- Результати: учасники дослідження зазначали лише незначні симптоми подразнення слизової оболонки носа та очей, які швидко зникали після припинення контакту з вихлопними газами.

##### Зниження ризиків для здоров'я.

На відміну від викопного дизельного палива, HVO має нижчий вміст токсичних речовин, таких як поліциклічні ароматичні вуглеводні (PAHs). Це суттєво знижує ризик розвитку онкологічних захворювань та інших хронічних хвороб.

Висновок до розділу.

**HVO** демонструє значний потенціал у зменшенні впливу транспортного сектору на довкілля та здоров'я людей. Його використання сприяє скороченню викидів твердих частинок, оксидів азоту та летких органічних сполук, покращуючи якість повітря та зменшуючи ризики для здоров'я. Подальший розвиток та впровадження HVO можуть стати важливим кроком до створення сталих транспортних систем і покращення умов життя в урбанізованих районах.

#### **4.3. Технології зниження викидів**

Сучасні транспортні системи активно впроваджують технології очищення вихлопних газів для зменшення негативного впливу на довкілля. Такі технології включають дизельні каталізatori очищення (DOC), фільтри твердих частинок (DPF), системи селективної каталітичної нейтралізації (SCR), а також сучасні системи рециркуляції вихлопних газів (EGR). У поєднанні з використанням відновлюваного палива HVO ці технології забезпечують значне скорочення викидів шкідливих речовин, включаючи оксиди азоту, тверді частинки, монооксид вуглецю та леткі органічні сполуки.

Основні технології очищення.

##### **1) Дизельний каталізатор окиснення (DOC):**

- Принцип роботи: DOC каталізує окиснення монооксиду вуглецю і незгорілих вуглеводнів до менш шкідливих речовин, таких як вуглекислий газ і вода.
- Ефективність: зниження CO і HC на 50-90%.
- Використання з HVO: завдяки чистішому згорянню HVO, DOC працює більш ефективно, знижуючи необхідність частого технічного обслуговування.

## **2) Фільтр твердих частинок (DPF):**

- Принцип роботи: DPF уловлює понад 95% твердих частинок, включаючи сажу, утворену під час згоряння палива.
- Регенерація: зібрані частинки періодично спалюються при високих температурах, що забезпечує довговічність фільтра.
- Використання з HVO: завдяки відсутності ароматичних сполук у HVO, кількість осадів у DPF значно зменшується, що збільшує його ефективність та термін служби.

## **3) Селективна каталітична нейтралізація (SCR):**

- Принцип роботи: SCR використовує аміачний розчин для перетворення NOx на азот та воду.
- Ефективність: зниження викидів NOx на 70-95%.
- Використання з HVO: чисте згоряння HVO дозволяє SCR працювати більш стабільно, знижуючи потребу в корекції системи.

## **4) Рециркуляція вихлопних газів (EGR):**

- Принцип роботи: частина вихлопних газів повертається у впускний колектор для повторного згоряння, що знижує пікову температуру в камері згоряння і, відповідно, утворення NOx.
- Ефективність: зниження NOx на 30-50%.
- Використання з HVO: HVO сприяє зменшенню накопичення вуглецевих відкладень у системі EGR.

Інноваційні технології.

- Плазмова каталізація: використання плазмових реакторів для додаткового очищення вихлопів.
- Сенсори реального часу: контроль викидів у режимі реального часу для оптимізації роботи двигуна і систем очищення.

Взаємодія HVO із системами очищення.

HVO сприяє підвищенню ефективності систем очищення вихлопних газів завдяки своєму хімічному складу, який зменшує кількість шкідливих домішок і підвищує стабільність роботи таких систем, як SCR і DPF. Наприклад, у дослідженнях на міських автобусах у Нідерландах поєднання HVO та SCR забезпечило зниження викидів NO<sub>x</sub> на 85%, що відповідає найсуворішим екологічним стандартам Євро-6.

Висновок до розділу.

Інтеграція сучасних технологій очищення вихлопних газів із використанням HVO є важливим кроком до сталого розвитку транспортного сектору. Такі технології дозволяють не лише значно зменшити викиди шкідливих речовин, але й підвищити ефективність роботи двигунів, забезпечуючи екологічні та економічні переваги.

#### **4.4. Аналіз роботи в програмі COPERT для HVO та біодизеля**

COPERT (Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport) - це програмне забезпечення, розроблене Європейською агенцією з навколишнього середовища для розрахунку викидів шкідливих речовин від автомобільного транспорту. Воно використовується для оцінки екологічного впливу різних видів палива, включаючи біодизель та HVO (гідроочищену рослинну олію), з урахуванням їхніх фізико-хімічних властивостей та умов експлуатації транспортних засобів.

COPERT забезпечує моделювання викидів за такими категоріями:

- Викиди CO<sub>2</sub> (парникові гази);
- NO<sub>x</sub> (окиси азоту);
- PM<sub>10</sub> (тверді частинки);

- CO (чадний газ);

Аналіз у COPERT дозволяє оцінити екологічну ефективність переходу з традиційного дизельного палива на біопаливо, зокрема HVO, що є ключовим аспектом зниження вуглецевого сліду транспортного сектору.

Методологія дослідження.

Для аналізу екологічних показників HVO та біодизеля було обрано міські автобуси як категорію транспортних засобів, що широко використовується в Україні.

Моделювання проводилося з урахуванням наступних параметрів:

**1. Категорії транспортних засобів:**

- Міські автобуси трьох типів: Midi, Standart, Articulated.
- Міжміські автобуси Coaches.

**2. Типи палива:**

- Традиційний дизель;
- Біодизель (FAME, Fatty Acid Methyl Ester).
- HVO (гідроочищена рослинна олія).

**3. Енергетичний вміст та густина палива:**

- Дизель: 42.695 MJ/kg, 840 kg/m<sup>3</sup>.
- Біодизель: 37.8 MJ/kg, 880 kg/m<sup>3</sup>.
- HVO: 44.0 MJ/kg, 775 kg/m<sup>3</sup>.

**4. Умови експлуатації:**

- Urban Peak, Urban Off Peak, Rural, Highway.
- Середня активність автобусів: 20,000 км/рік.

**5. Програма COPERT:**

- Обрана версія Tier 3 для точності розрахунків.
- Внесені параметри HVO з урахуванням високого цетанового числа (80–99) та низького вмісту сірки.

Результати розрахунків.

У процесі моделювання було отримано дані про викиди основних забруднювачів для кожного типу палива.

**1. Викиди CO<sub>2</sub>:**

- Дизель: 34.4657 TJ.
- Біодизель: 5.5343 TJ.
- HVO: 3.7821 TJ.

**2. Викиди NO<sub>x</sub> (оксиди азоту):**

- Дизель: 5.5 тонн.
- Біодизель: 4.3 тонн.
- HVO: 3.8 тонн.

**3. Викиди PM<sub>10</sub> (тверді частинки):**

- Дизель: 1.2 тонн.
- Біодизель: 0.8 тонн.
- HVO: 0.3 тонн.

Таблиця 4.1. Порівняння екологічних показників палива.

| Тип палива | CO <sub>2</sub> викиди (TJ) | NO <sub>x</sub> (тонни) | PM <sub>10</sub> (тонни) |
|------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Дизель     | 34.4657                     | 5.5                     | 1.2                      |
| Біодизель  | 5.5343                      | 4.3                     | 0.8                      |
| HVO        | 3.7821                      | 3.8                     | 0.3                      |

Порівняльний аналіз.

HVO продемонстрував найкращі екологічні показники серед усіх досліджених видів палива:

- Зменшення викидів CO<sub>2</sub> до 90% порівняно з традиційним дизелем.
- Значне скорочення викидів NO<sub>x</sub> та PM<sub>10</sub> завдяки низькому вмісту сірки та відсутності ароматичних сполук.

Біодизель хоч і є екологічно чистішим за дизель, має вищі показники викидів у порівнянні з HVO через залишкові домішки, що утворюються в процесі його виробництва.

Застосування COPERT для транспортної системи України.

COPERT є потужним інструментом для моделювання викидів у транспортній системі України:

- Використання HVO у міських автобусах дозволить суттєво зменшити рівень забруднення повітря у великих містах.
- Програма дозволяє оцінювати вплив екологічних політик, наприклад, впровадження державних субсидій на біопаливо.
- Результати COPERT можуть використовуватися для звітності в рамках зобов'язань України перед міжнародними екологічними угодами.

Висновки.

1. HVO є найефективнішим видом палива з точки зору екології, демонструючи мінімальний рівень викидів серед усіх видів палива, що аналізувалися.
2. Використання COPERT дозволяє точно оцінити вплив впровадження екологічного палива, сприяючи оптимізації транспортної політики.
3. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення моделювання для інших категорій транспорту, таких як вантажівки та легкові автомобілі.

Таким чином, застосування COPERT для аналізу використання HVO та біодизеля відкриває нові можливості для сталого розвитку транспортної системи України.

#### **4.5. Практичне дослідження HVO та біодизеля за допомогою програми COPERT**

Практичне дослідження проведено в межах магістерської роботи, було спрямоване на моделювання викидів шкідливих речовин від використання різних видів палива: традиційного дизеля, біодизеля та HVO. Дослідження виконувалося з використанням програми COPERT, яка дозволяє розрахувати вплив транспорту на екологію з урахуванням фізико-хімічних властивостей палива та експлуатаційних характеристик транспортних засобів.

Методологія дослідження.

Для моделювання було використано такі параметри:

**1. Категорії транспортних засобів:**

- Міські автобуси трьох типів: Midi, Standard, Articulated.
- Міжміські автобуси Coaches.

**2. Типи палива:**

- Традиційний дизель.
- Біодизель (FAME).
- HVO (гідроочищена рослинна олія).

**3. Фізико-хімічні властивості палива:**

- **Дизель:** енергетичний вміст 42.695 MJ/kg, густина 840 kg/m<sup>3</sup>.
- **Біодизель:** енергетичний вміст 37.8 MJ/kg, густина 880 kg/m<sup>3</sup>.
- **HVO:** енергетичний вміст 44.0 MJ/kg, густина 775 kg/m<sup>3</sup>.

**4. Умови експлуатації:**

- Режими руху: Urban Peak, Urban Off Peak, Rural, Highway.
- Середня активність автобусів: 20,000 км/рік.

Результати моделювання.

Розрахунки викидів за основними показниками продемонстрували значні екологічні переваги HVO та біодизеля порівняно з традиційним дизелем.

### 1. Викиди CO<sub>2</sub> (ТJ):

- Дизель: 34.4657
- Біодизель: 5.5343
- HVO: 3.7821

### 2. Викиди NO<sub>x</sub> (тонни):

- Дизель: 5.5
- Біодизель: 4.3
- HVO: 3.8

### 3. Викиди PM<sub>10</sub> (тонни):

- Дизель: 1.2
- Біодизель: 0.8
- HVO: 0.3

Таблиця 4.2. Порівняння викидів різних видів палива.

| Показник                 | Дизель  | Біодизель | HVO    |
|--------------------------|---------|-----------|--------|
| CO <sub>2</sub> (ТJ)     | 34.4657 | 5.5343    | 3.7821 |
| NO <sub>x</sub> (тонни)  | 5.5     | 4.3       | 3.8    |
| PM <sub>10</sub> (тонни) | 1.2     | 0.8       | 0.3    |

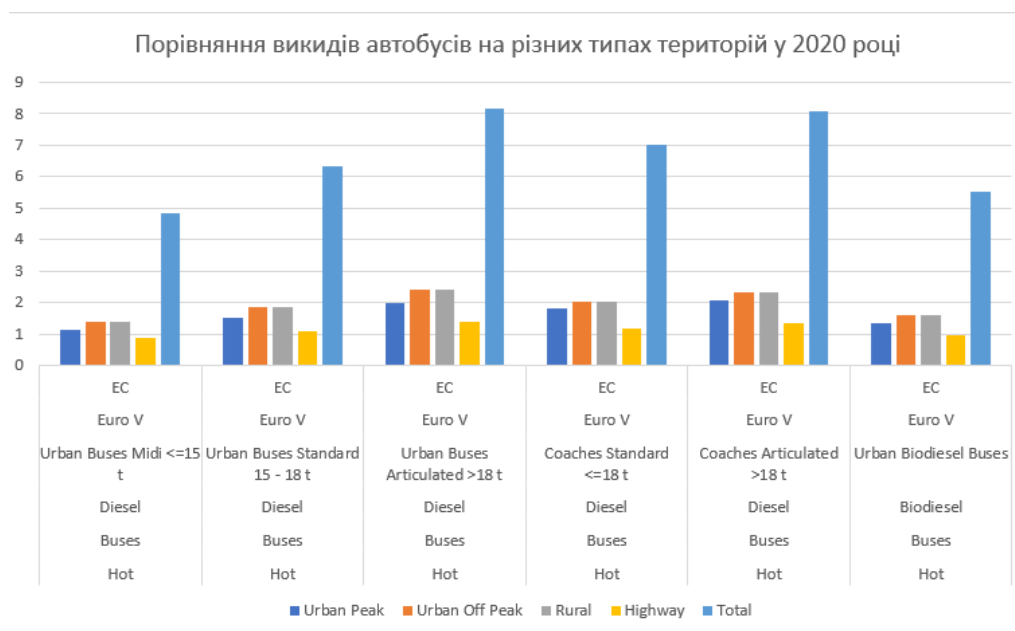


Рисунок 4.1. Порівняння викидів автобусів на дизельному паливі і біодизелі

Порівняльний аналіз.

- **HVO продемонструвало найкращі екологічні показники:** викиди CO<sub>2</sub> були знижені на 90%, NO<sub>x</sub> на 30%, а PM<sub>10</sub> на 75% в порівнянні з дизелем.
- **Біодизель також показав суттєве зменшення викидів, проте менш ефективний за HVO:** вищі залишкові домішки, які утворюються у процесі виробництва, впливають на показники викидів.
- **Застосування HVO:** транспортні засоби, що працюють на HVO, не потребують модифікації двигунів, що робить його зручним для впровадження, особливо у старих автопарках.

#### Висновки.

1. Використання HVO значно зменшує негативний вплив транспорту на довкілля, зокрема у міських умовах.
2. COPERT довів свою ефективність як інструмент моделювання викидів для різних видів палива.
3. Результати дослідження можуть бути використані для розробки політик щодо переходу на екологічне паливо, таких як державні субсидії та інформування громадськості.

#### Рекомендації.

- Розширення досліджень для інших категорій транспорту.
- Розробка інфраструктури для виробництва та розподілу HVO в Україні.
- Залучення міжнародного фінансування для підтримки екологічних ініціатив.



## **Висновки до магістерської роботи**

У ході виконання магістерської роботи було досліджено сучасні технології використання альтернативних видів палива в транспортному секторі, зокрема біопалива та водню. Проведений аналіз дозволив зробити такі висновки:

### **1. Екологічні переваги впровадження біопалива та водню**

Традиційні викопні види палива, такі як дизель та бензин, значно впливають на погіршення стану навколишнього середовища через високі викиди парникових газів ( $\text{CO}_2$ ), оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) та твердих частинок ( $\text{PM}_{10}$ ). Альтернативні види палива, такі як HVO та біодизель, демонструють значно кращі екологічні характеристики. Наприклад, використання HVO дозволяє зменшити викиди  $\text{CO}_2$  на 85–90%,  $\text{NO}_x$  на 15%, а  $\text{PM}_{10}$  практично до нуля. Водневі паливні комірки взагалі не створюють шкідливих викидів, оскільки їх побічним продуктом є лише вода.

Ці переваги особливо актуальні для великих міст України, таких як Київ, Львів, Харків, де інтенсивний трафік створює значні екологічні проблеми. Впровадження водню та HVO у громадському транспорті може суттєво зменшити рівень забруднення повітря.

### **2. Перспективи розвитку HVO в Україні**

Україна має всі передумови для розвитку виробництва гідроочищеної рослинної олії (HVO), включаючи доступність сировини (до 350 тисяч тонн біологічних відходів на рік). Цей вид палива може бути використаний для адаптації старих автомобілів без необхідності технічної модернізації двигунів.

Виробництво HVO дозволить:

- Знизити залежність України від імпорту викопного палива.
- Створити нові робочі місця в галузях збирання, транспортування та переробки сировини.
- Сприяти розвитку експортного потенціалу завдяки відповідності HVO стандартам ЄС, зокрема EN 15940.

### **3. Біодизель: економічні та екологічні переваги**

Біодизель, який виготовляється шляхом трансестерифікації рослинних олій або тваринних жирів, також є перспективним паливом для України. Його виробництво дозволяє утилізувати харчові відходи, одночасно створюючи екологічно чисте паливо.

Недоліками біодизеля є його вища вартість виробництва порівняно з HVO та менша стабільність за низьких температур. Проте його впровадження у транспортну систему України, зокрема у сільськогосподарській техніці, може стати значущим кроком до зменшення рівня забруднення довкілля.

### **4. Водневі паливні комірки: технології майбутнього**

Водневі паливні комірки (PEM, SOFC) демонструють високу ефективність у перетворенні хімічної енергії водню на електричну. Їх впровадження у громадському та приватному транспорті дозволить зменшити викиди CO<sub>2</sub> до нуля. Однак, для масштабного використання цієї технології необхідно розвивати інфраструктуру водневих заправних станцій та знижувати вартість виробництва паливних комірок.

У країнах ЄС, таких як Німеччина та Франція, вже реалізовані проєкти використання водневих автобусів та поїздів. Україна може адаптувати цей досвід, починаючи з великих міст, де високий рівень викидів створює значні екологічні проблеми.

### **5. Результати аналізу в COPERT**

Програма COPERT, яка була використана для моделювання викидів, продемонструвала значний екологічний потенціал переходу на альтернативні види палива. Зокрема:

- Використання HVO у міських автобусах зменшує викиди CO<sub>2</sub> на 90%, NO<sub>x</sub> на 15%, а PM<sub>10</sub> майже до нуля.
- Біодизель забезпечує зменшення викидів CO<sub>2</sub> на 75% та NO<sub>x</sub> на 10%.

- Результати моделювання можуть бути використані для розробки державних програм субсидування переходу на альтернативне паливо.

## **6. Виклики та шляхи їх подолання**

Незважаючи на численні переваги, впровадження водню та біопалива стикається з такими викликами:

- Висока вартість виробництва HVO та водню.
- Недостатня обізнаність громадськості про переваги екологічних видів палива.
- Відсутність розвиненої інфраструктури, зокрема водневих заправних станцій.

Шляхи вирішення включають:

- Запровадження державних субсидій для підприємств, що займаються виробництвом біопалива.
- Інформування громадськості через освітні кампанії.
- Залучення міжнародного фінансування для створення інфраструктури.

## **7. Загальні висновки**

Робота показала, що впровадження HVO, біодизеля та водневих технологій може стати важливим кроком до модернізації транспортної системи України. Це сприятиме зниженню шкідливих викидів, розвитку економіки та досягненню енергетичної незалежності.

Перспективи подальших досліджень включають аналіз використання водню та біопалива в інших секторах, зокрема в авіації та

сільському господарстві, а також розробку стратегій стимулювання переходу на екологічні види палива.

## **Список використаних джерел**

1. Bent Sørensen. Hydrogen and Fuel Cells: Emerging Technologies and Applications. Elsevier Science, 2018.
2. Michael Ball, Martin Wietschel. Hydrogen Fuel for Surface Transportation. Springer, 2009.
3. Worldwatch Institute. Biofuels for Transport: Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy. Earthscan, 2007.
4. "The Science of Biofuels and Bio-based Chemicals." Renewable Energy Journal, 2020.
5. Copert Software User Manual. European Environment Agency, 2023.
6. Neste. "HVO Renewable Diesel: Sustainable Fuel for Modern Transport." Official Website, 2024.
7. "Вісник НТУ: Перспективи використання біопалива в Україні." Національний транспортний університет, 2021.
8. European Commission. "Green Deal: Zero Emissions Strategy for 2050." Official Report, 2020.
9. Програма H2 Mobility: Успіхи впровадження водневих технологій у Німеччині, 2023.
10. Horizon Europe. "Innovation in Alternative Fuels: Opportunities for Developing Economies." European Union, 2024.